



jc929 U.S. PRO

09/776343



02/02/01

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 100 04 891.9

**Anmeldetag:** 4. Februar 2000

**Anmelder/Inhaber:** DaimlerChrysler AG, Stuttgart/DE;  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München/DE

**Bezeichnung:** Fokalfäche und Detektor für optoelektronische Bild-  
aufnahmesystem, Herstellungsverfahren und opto-  
elektronisches Bildaufnahmesystem

**IPC:** H 04 N und G 02 B

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 19. Januar 2001  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

HolB

## **Fokalfläche und Detektor für optoelektronische Bildaufnahmesysteme, Herstellungsverfahren und optoelektronisches Bildaufnahmesystem**

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Fokalfläche für optoelektronische

- 5 Bildaufnahmesysteme gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1, ein Verfahren zur Herstellung einer Fokalfläche gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 9, ein Verfahren zur Herstellung eines Detektors gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 11, einen Detektor gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 17 und ein optoelektronisches Bildaufnahmesystem gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 20.

10

Optoelektronische Bildaufnahmesysteme werden z.B. im Bereich der Raumfahrt, zur Erdbeobachtung, bei Aufklärungssystemen oder in der Fahrzeugtechnik zur Erkennung von Hindernissen eingesetzt. Optoelektronische Bildaufnahmesysteme bestehen im Sensorkopf aus einer Frontoptik, beispielsweise einem Objektiv oder Teleskop, Detektoren

15 in der Fokalebene und einer Elektronik. Die Frontoptiken, wie beispielsweise die bei Weltrauminstrumenten häufig eingesetzten Spiegelteleskope, haben dabei ein gekrümmtes Bildfeld bzw. eine gekrümmte Fokalebene. Die Detektortechnologie verlangt jedoch einen ebenen Aufbau. Um ebene Detektorflächen in der Fokalebene anbringen zu können, müssen deshalb sogenannte Feldkorrektoren bzw. field-flattener den Teleskopen

20 bzw. Optiken optisch nachgeschaltet werden, um die Bildfläche zu ebenen. Die Feldkorrektoren bestehen im Allgemeinen aus Linsen-Baugruppen, die meistens nur über einen begrenzten Bereich des Sehfeldes eine Korrektur des Bildfeldes bewirken können.

20

- Zur Veranschaulichung zeigt Figur 4 ein bekanntes Cassegrain-System, das als
- 25 Spiegelteleskop für Weltrauminstrumente verwendet werden kann. Figur 5 zeigt die gekrümmte Fokalfläche eines Konkavspiegels. Figur 6 zeigt ein Quasi-Ritchey-Chrétien Booster-System mit einem bekannten Feldkorrektor bzw. seinem Strahlverlauf.

- Bei vielen Anwendungen ist jedoch ein weites Sehfeld notwendig, beispielsweise um einen
- 30 möglichst breiten Abtaststreifen zu erhalten. Insbesondere in einem abtastenden Pushbroom-Instrument verlangt dies in gleichem Maße die Erweiterung des Teleskop-Sehfeldes. Für ein geometrisch hoch auflösendes Raumfahrt-Instrument kommen aus

Festigkeitsgründen, insbesondere um die Startlasten zu überstehen, in erster Linie Spiegelteleskope in Frage. Weiterhin ist in vielen Fällen eine spektral breitbandige Empfindlichkeit erforderlich.

- 5 Die Detektoren in der Fokalebene bilden das Herzstück optoelektronischer Bildaufnahmesysteme. Dabei werden z.B. die bekannten CCD-Detektoren verwendet, oder auch die bekannten CMOS-Detektoren mit aktiver Pixeltechnik. Diese Detektoren haben eine integrierte Ausleseelektronik und können in einem Herstellungsprozess gefertigt werden.

10

Im Bereich der Fahrzeugtechnik werden zur Erkennung von Hindernissen Kameras mit großem Sehfeld bzw. Panoramakameras benötigt. Diese erfordern jedoch eine komplizierte Optik um ein großes Sehfeld zu erreichen und Verzerrungen zu reduzieren. Dementsprechend hoch ist der Preis für eine Kamera bzw. ein Bildaufnahmesystem für  
15 derartige Anwendungen.

20

Um eine hohe Abbildungsqualität zu erreichen, sind auch sehr enge thermo-mechanische Toleranzen notwendig. Die Feldkorrektoren schränken häufig den spektralen Übertragungsbereich ein, was z.B. durch einen engen Transmissionsbereich von  
eingesetzten Linsen-Gläsern bedingt wird.

25

Insgesamt ergeben sich also bei den bekannten optoelektronischen Bildaufnahmesystemen bzw. Detektor-Anordnungen erhebliche Nachteile, wie z.B. die Einschränkung des Sehfeldes und die Begrenzung spektraler Übertragungseigenschaften  
der Teleskope, ein komplexer Aufbau mit Feldkorrektoren zur Erzeugung planarer  
Bildebenen, komplizierte und aufwendige Frontoptiken und hohe Kosten.

30

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung die o.g. Nachteile zu überwinden, optoelektronische Bildaufnahmesysteme zu vereinfachen und weitere Sehfelder zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch die Fokalfläche für optoelektronische Bildaufnahmesysteme gemäß Patentanspruch 1, das Verfahren zur Herstellung einer Fokalfläche gemäß Patentanspruch 9, das Verfahren zur Herstellung eines Detektors gemäß Patentanspruch 11, den Detektor zur Bildaufnahme gemäß Patentanspruch 17 und  
5 durch das optoelektronische Bildaufnahmesystem gemäß Patentanspruch 20. Weitere vorteilhafte Merkmale, Aspekte und Details der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine Fokalfläche für optoelektronische  
10 Bildaufnahmesysteme geschaffen, mit einer Anordnung von Detektoren zur Bildaufnahme und einem Detektorträger zum Halten der Detektoren, wobei die Detektoren jeweils aus mindestens einem Silizium-Element hergestellt sind, das mit einem flexiblen Trägersubstrat verbunden ist, und wobei die Fokalfläche und/oder die Detektoren eine Krümmung zur Aufnahme eines gekrümmten Bildfeldes aufweisen. Dadurch werden  
15 Feldkorrektoren zur Erzeugung planarer Bildebenen überflüssig und somit die Frontoptiken der Bildaufnahmesysteme vereinfacht. Sie können thermo-mechanisch robuster ausgestaltet werden. Weitere Sehfelder werden möglich, die z.B. bei 15° im Fall von Schmidt-Teleskopen liegen können, da die Feldkorrektoren entfallen, die ansonsten das Sehfeld begrenzen. Darüber hinaus bleiben breitbandige spektrale  
20 Übertragungseigenschaften der Teleskope bzw. Frontoptiken erhalten.

Vorzugsweise sind die Detektoren aus gedünnten Silizium-Wafern hergestellt und gekrümmt in der Fokalfläche angeordnet. Insbesondere sind die Detektoren mittels eines Hilfsträgers hergestellt, der zum Dünnen des Silizium-Elements mit dem Silizium-Element  
25 verbunden ist und nach dem Dünnen entfernenbar ist oder entfernt wird. Dadurch kann das Silizium-Element bzw. der Detektor besonders dünn und flexibel ausgestaltet werden, so dass entsprechend große Krümmungen erreicht werden. Es ergibt sich eine besonders große Flexibilität bzw. Verbiegbarkeit der Detektoren und der Fokalfläche.

30 Das Silizium-Element bzw. die Silizium-Elemente haben bevorzugt eine Dicke im Bereich von maximal ca. 20µm, insbesondere bevorzugt im Bereich von ca. 10µm oder weniger. Die Detektoren können flexibel und insbesondere als CMOS-Zeilendetektoren ausgestaltet

sein. Dadurch können auf kostengünstige Weise flexible bzw. gekrümmte oder krümmbare Detektoren mit integrierter Ausleseelektronik in CMOS-Technologie gefertigt werden.

Vorteilhafterweise hat die Fokalfläche eine Aktorik zur variablen Krümmung der

- 5 Detektoren bzw. der Fokalfläche. Dadurch wird eine aktive Regelung der flexiblen, gekrümmten Fokalebene möglich. Neue Teleskop-Konzepte werden realisierbar, die verbesserte optische Eigenschaften aufweisen bzw. vereinfacht oder mit weniger Bauteilen ausgestaltet werden können.

- 10 Insbesondere kann die Fokalfläche mit einem Temperatur-Kontrollsystem ausgestattet sein, um die Detektoren in einem definierten Temperaturbereich zu halten. Dabei kann z.B. der Detektorträger Kanäle für Kühlmittel aufweisen oder auch an Peltier-Elemente gekoppelt sein. Dadurch wird die Empfindlichkeit gegenüber Temperaturschwankungen verringert, d.h. die Fokalfläche und damit ausgestattete Bildaufnahmesysteme werden
- 15 thermo-mechanisch robuster.

- Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung einer Fokalfläche für optoelektronische Bildaufnahmesysteme wird ein Detektorträger mit einer Detektor-Anordnung zur Bildaufnahme versehen, wobei zur Ausgestaltung flexibler Detektoren
- 20 jeweils mindestens ein Silizium-Element mit einem flexiblen Trägersubstrat verbunden wird, und wobei der Detektorträger eine Krümmung aufweist und die flexiblen Detektoren an die Krümmung des Detektorträgers angepasst werden. Durch dieses Verfahren wird es möglich, Fokalflächen zu schaffen, die beim Einsatz in optoelektronischen Bildaufnahmesystemen keine Feldkorrektoren benötigen. Das Verfahren kann
- 25 kostengünstig durchgeführt werden, wobei Techniken der Mikromechanik eingesetzt werden können. Das Verfahren ist die Grundlage zur Schaffung von optoelektronischen Bildaufnahmesystemen bzw. Fokalflächen, mit denen größere Sehfelder, verbesserte optische Eigenschaften und eine einfache Konstruktion ermöglicht werden. Weiterhin können die optischen Elemente, wie Linsen, Teleskope, usw., vereinfacht und in ihrem
- 30 Gewicht reduziert werden.

Vorteilhafterweise wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren das Silizium-Element gedünnt.

5 Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung eines Detektors für optoelektronische Bildaufnahmesysteme angegeben, bei dem mindestens ein Silizium-Element gedünnt wird und mit einem flexiblen Trägersubstrat verbunden wird, so dass es flexibel ausgestaltet ist bzw. an eine Krümmung eines Bildfelds anpassbar ist. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können flexible oder gekrümmte bzw. krümmbare Detektoren geschaffen werden, die einen Einsatz in Fokalflächen und in  
10 optoelektronischen Bildaufnahmesystemen ohne notwendige Feldkorrektoren ermöglichen. Es ergeben sich zusätzlich die weiteren Vorteile, wie sie oben bereits angesprochen wurden.

15 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung einer Fokalfläche und bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines Detektors können vorteilhafterweise auch die folgenden, weiteren Verfahrensschritte erfolgen:

20 Zum Dünnen des Silizium-Elements kann dieses mit einem Hilfsträger verbunden werden, wobei der Hilfsträger z.B. nach dem Dünnen entfernt wird oder entfernbar ist. Dadurch können die Silizium-Elemente in ihrer Dicke stark reduziert werden und eine hohe Flexibilität erreichen, wobei der Ausschuss gering ist.

25 Das Dünnen bzw. die Reduzierung der Dicke des Silizium-Elements kann durch Abtragen erfolgen, beispielsweise durch Schleifen, Ätzen, Spin-Ätzen, chemisch-mechanisches Polieren (CMP) oder eine Kombination davon. Damit können je nach Anwendungsfall besonders hohe Abtragungsraten, wie z.B. beim Schleifen, mittlere Abtragungsraten, wie z.B. beim Spin-Ätzen, oder aber eine besonders hohe Präzision, wie z.B. beim CMP-Verfahren, erreicht werden.

30 Vorteilhafterweise liegt bei den Verfahren das Silizium-Element zunächst als Wafer vor, wobei der Wafer anschließend oder später in Chips vereinzelt wird, bevorzugt vor dem

Verbinden mit dem Trägersubstrat. Dadurch kann die Herstellung besonders kostengünstig erfolgen.

5 Vorteilhafterweise werden die Silizium-Elemente durch isoplanare Kontaktierung mit elektrischen Kontakten versehen. Dadurch können auch extrem dünne Chips kontaktiert werden, ohne dass die Gefahr des Zerstörens der Chips besteht, da keine hohen lokalen Druckkräfte auftreten, wie beispielsweise bei der Verwendung eines Bondstempels.

10 Bevorzugt wird das Silizium-Element mit einer lichtdurchlässigen Abdeckung versehen, wodurch die Bruchempfindlichkeit deutlich herabgesetzt wird.

15 Gemäß einem noch weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Detektor zur Bildaufnahme geschaffen, der aus einem Silizium-Element hergestellt ist, wobei das Silizium-Element gedünnt und mit einem flexiblen Trägersubstrat verbunden ist, und wobei der Detektor flexibel ist. Durch den erfindungsgemäßen Detektor ist es möglich, Fokalflächen für Bildaufnahmesysteme zu schaffen, die gekrümmt ausgestaltet sein können, so dass entsprechende Bildaufnahmesysteme keine Feldkorrektoren benötigen. Dadurch können die oben bereits angesprochenen Vorteile erzielt werden.

20 Vorteilhafterweise hat das Silizium-Element eine Dicke im Bereich von weniger als  $50\mu\text{m}$ , bevorzugt weniger als  $20\mu\text{m}$ , insbesondere ca. 10 bis  $20\mu\text{m}$ . Das Längen- zu Breitenverhältnis des Silizium-Elements kann im Bereich von ca. 20 bis 60, bevorzugt bei ca. 40 liegen. Vorteilhafterweise ist es größer als 20.

25 Bevorzugt ist der Detektor durch ein erfindungsgemäßes Verfahren hergestellt, wie es oben beschrieben ist.

30 Schließlich wird durch die vorliegende Erfindung ein optoelektronisches Bildaufnahmesystem geschaffen, mit einer Frontoptik zum Erfassen eines Bildes, und einer Detektor-Anordnung, die in einer Fokalfläche der Frontoptik angeordnet ist, wobei die Detektor-Anordnung gekrümmt in der Fokalfläche angeordnet ist. Dadurch werden weitere Sehfelder ermöglicht, wobei insbesondere die Optiken vereinfacht werden können.

Feldkorrektoren sind nicht mehr notwendig. Es ergeben sich die weiteren Vorteile, wie sie oben im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Fokalfläche und dem erfindungsgemäßen Detektor angesprochen sind.

- 5 Insbesondere hat das optoelektronische Bildaufnahmesystem eine erfindungsgemäße Fokalfläche und/oder einen erfindungsgemäßen Detektor.

Die Erfindung wird nachfolgend beispielhaft anhand der Figuren beschrieben. Es zeigen:

- 10 Fig. 1 eine schematische Schnittansicht einer Fokalfläche als bevorzugte Ausführungsform der Erfindung;
- Fig. 2 die Krümmung eines Bildfeldes, an die die Fokalfläche angepaßt ist
- Fig. 3 eine Draufsicht auf ein erfindungsgemäßes Detektormodul bzw. -element
- 15 Fig. 4 ein bekanntes Cassegrain-System;
- Fig. 5 eine gekrümmte Fokalfläche eines Konkavspiegels;
- Fig. 6 den Strahlverlauf in einem bekannten Schmidt-Teleskop mit reflektivem Korrektor;
- Fig. 7 einen Längsschnitt durch eine Fokalfläche mit einem Temperatur-
- 20 Kontrollsystem gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;
- Fig. 8 einen Längsschnitt durch eine Fokalfläche mit einem Temperaturkontrollsystem gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;
- 25 Fig. 9a bis g verschiedene Schritte zur Herstellung der erfindungsgemäßen Fokalfläche; und
- Fig. 10 eine erfindungsgemäße Fokalfläche mit variablem Krümmungsradius.

- 30 Eine erste bevorzugte Ausführungsform der Erfindung wird nachfolgend anhand der Figur 1 beschrieben. Figur 1 zeigt dabei schematisch einen Schnitt durch einen Teil einer Fokalfläche 10. Die Fokalfläche 10 umfasst einen oder mehrere Detektoren 11, wobei in der Abbildung nur ein Detektor 11 in Form eines Zeilensensors dargestellt ist. Der



Detektor 11 ist ein CMOS-Zeilendetektor mit einem relativ großen Längen- zu Breitenverhältnis, das im vorliegenden Fall ca. 40 beträgt. Er besteht aus einem Chip bzw. Silizium-Element, das über eine erste Verbindungsschicht 12 mit einem flexiblen Trägersubstrat 13 verbunden ist. Die erste Verbindungsschicht 12 ist dabei ein

5 Kleberauftrag, der besonders dünn ausgestaltet ist und eine Dicke von weniger als  $10\mu\text{m}$ , bevorzugt ca. 1 bis  $2\mu\text{m}$  hat. Das Trägersubstrat 13 ist aus einer flexiblen Folie gebildet, die eine Dicke von ca. 50 bis  $100\mu\text{m}$  hat. Das flexible Trägersubstrat 13 mit dem darauf befindlichen Chip ist durch eine zweite Verbindungsschicht 14, die ebenfalls eine Kleberschicht ist, mit einem Detektorträger 15 verbunden. Der Detektorträger 15 bildet

10 somit eine Fokalflächen-Rückplatte zum Tragen einer Vielzahl von Detektormodulen oder -elementen mit Detektoren 11. An seiner Oberfläche 15a hat der Detektorträger 15 eine Krümmung, an die der Detektor 11 angepasst ist. D.h., der Detektor 11 ist ebenfalls gekrümmt bzw. flexibel. Durch die Krümmung an seiner Oberfläche 11a ist der Detektor 11, zusammen mit weiteren auf dem Detektorträger 15 befindlichen Detektoren, zur

15 Aufnahme eines gekrümmten Bildfeldes geeignet.

Der Grad der Fokalebenen-Krümmung ist von dem konkreten Anwendungsfall abhängig. Bei einem bekannten Weitwinkel-Teleskop bzw. einem typischen, reflektiven Schmidt-Teleskop in einem Bildaufnahmesystem kann z.B. als Aperturdurchmesser  $D_o$  ein Wert

20 von 20cm und als Brennweite  $f$  ein Wert von 1m angenommen werden. Das Öffnungsverhältnis  $F\#$  beträgt damit:  $F\# = f/D_o = 5$ . In Abhängigkeit vom Bildwinkel lassen sich unterschiedliche Bildhöhen und der Defokus berechnen. Beispielsweise ergibt sich bei einem Bildwinkel von  $\pm 3^\circ$  eine Bildhöhe von 105,52mm. Die Höhenunterschiede bei  $\pm 3^\circ$  betragen gegenüber der Mitte -1,2mm, und bei  $\pm 6^\circ$  5,35mm. Mit den erfindungsgemäßen

25 Detektoren 11 bzw. der Fokalfläche 10 lassen sich die entsprechenden Krümmungen erreichen.

Die Krümmung der Fokalfläche 10 ist so ausgelegt, dass die Wellenfront senkrecht auf die Detektoren 11 bzw. auf die Detektoroberfläche 11a trifft. Dabei ergeben sich die

30 notwendigen Toleranzen aus der Tiefenschärfe  $\delta S$  unter Einhaltung der  $\lambda/4$ -Grenze aus der Formel:

$$\delta S = \frac{\pm \lambda}{2 n \sin^2 U_m} \quad (1)$$

5 wobei  $U_m$  der Grenzstrahlwinkel am Bild und  $\lambda$  die Wellenlänge ist.

10 Mit  $n=1$ ,  $\lambda=0,65\mu\text{m}$  und  $F\# = 5$  ergibt sich für die physikalische Tiefenschärfe  $\delta S$  ein Wert von  $\pm 32,5\mu\text{m}$ . Bei der Herstellung der Fokalfläche 10 können Toleranzen im Bereich um ca.  $\pm 30\mu\text{m}$  ohne weiteres eingehalten werden. Die Krümmung der Fokalfläche 10 gemäß der bevorzugten Ausführungsform ist in Figur 2 dargestellt. Dort ist der Defokus in mm in Abhängigkeit vom Öffnungswinkel in Grad angegeben, wobei die Fokalfläche an diesen Verlauf angepasst ist.

15 Das Detektormodul bzw. Zeilenmodul mit dem Detektor 11 und dem flexiblen Trägersubstrat 13 ist schematisch in Figur 3 in einer Draufsicht gezeigt. Auf der Oberfläche 13a des Trägersubstrats sind elektrische Kontakte 16 als Außenanschlüsse für eine elektrische Verbindung zu einer Ansteuer- und Ausleseelektronik ausgestaltet. Die elektrischen Kontakte 16 befinden sich am Rand entlang der Breite des Detektormoduls. Elektrische Verbindungen 17 vom Chip bzw. Detektor 11 zum Trägersubstrat 13 sind über 20 die Chipkante gezogen. Die Kontakte sind somit durch isoplanare Kontaktierung hergestellt, so dass bei der Herstellung keine hohen lokalen Druckkräfte, wie z.B. beim Drahtbonden, auf die extrem dünnen Chips wirken. Die elektrischen Verbindungen 17 sind durch Siebdrucktechnik ausgestaltet.

25 In der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden als Detektoren 11 CMOS-APS-Zeilendetektoren verwendet. Es ist aber auch möglich, CCD-Detektoren zu verwenden. Die Detektorzeilen haben beispielsweise 10.240, 8.192, 6.144, 4.096, 2.048 oder 1.024 Pixel. Die Länge der verwendeten Zeilendetektoren bzw. Siliziumbausteine beträgt ca. 100mm, während ihre Breite nur ca. 3mm beträgt, woraus sich das sehr große Längen- zu 30 Breitenverhältnis ergibt. Die Silizium-Elemente bzw. Siliziumscheiben zur Bildung der Detektoren 11 sind auf ca.  $25\mu\text{m}$  gedünnt bzw. in ihrer Dicke reduziert. Die Dicke des

Detektors 11 bzw. des eigentlichen Zeilensensors, der von dem Trägersubstrat 13 unterstützt wird, beträgt ca. 20µm.

Der Zeilensensor bzw. Detektor 11 mit seinen ca. 2.000 bis 10.000 Pixeln hat weiterhin  
 5 eine lichtdurchlässige Abdeckung, die in Figur 1 nicht dargestellt ist. Dazu ist die entsprechende CMOS-Zeile zwischen zwei Folien einlaminiert, wobei die untere Folie das Trägersubstrat 13 mit den beschriebenen Anschlussstrukturen bildet, während die obere Folie durchsichtig ist und lediglich als Schutz dient. Dadurch wird die weitere Handhabung des Zeilenmoduls bzw. der Detektorzeile auf dem flexiblen Trägersubstrat 13 wesentlich  
 10 erleichtert und die Bruchempfindlichkeit des gedünnten Siliziumchips, der als Einkristall ausgebildet ist, wird deutlich herabgesetzt.

Figur 4 zeigt ein bekanntes Cassegrain-System als Beispiel für eine Frontoptik, die mit der gekrümmten Fokalfläche gemäß der vorliegenden Erfindung ausgestattet werden kann um  
 15 ein optoelektronisches Bildaufnahmesystem zu bilden. Beim Cassegrain-System als Frontoptik 20 fallen die Strahlen eines entfernten Objekts auf einen konkaven Spiegel 21 und werden in einen Fokus f1 reflektiert. Bevor die Strahlen konvergieren, reflektiert ein Konvex-Spiegel 22 die Strahlen in einen zweiten Fokus f2 durch eine Zentralöffnung 23 im Spiegel 21. In der klassischen Cassegrain-Form ist der Spiegel 21 ein Paraboloid und der  
 20 Konvex-Spiegel 22 ein Hyperboloid mit den Foki f1 und f2. Daneben sind auch andere bekannte Ausgestaltungen von Frontoptiken zusammen mit der erfindungsgemäßen, gekrümmten Fokalfläche möglich, wie z.B. das Schmidt-System oder das sogenannte Ritchey-Chrétien System.

25 Konvergierende Elemente bzw. konkave Spiegel haben allgemein eine starke Petzval-Krümmung, die konvex in Richtung der einfallenden Strahlen ist und in Figur 5 dargestellt ist. Allgemein ergibt sich die Petzval-Krümmung einer reflektierenden Fläche aus der Formel

$$30 \quad P = 2 \, n \, c \quad (2)$$

wobei n der Brechungsindex des Mediums ist, das in Kontakt mit dem Spiegel steht und

$c = 1/r$  der Krümmungsparameter ist.

Figur 6 zeigt als Beispiel den Strahlengang in einem Schmidt-Teleskop mit einem reflektiven Korrektor 24 gemäß dem Stand der Technik. Das Teleskop umfasst weiterhin  
5 einen Primärspiegel 24b und einen Faltspiegel 24c. Der reflektive Korrektor 24 dient dazu, eine Abbildung auf eine ebene Fokalfläche bzw. Fokalebene 24a zu ermöglichen. In anderen bekannten Systemen werden z.B. auch transmissive Korrektoren oder Korrektorplatten verwendet, um die Strahlen auf eine ebene Fläche abzubilden, wie sie die bekannte Detektor-Technologie verlangt.

10

Das Bildaufnahmesystem gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst stattdessen eine gekrümmte Fokalfläche, beispielsweise gemäß der oben beschriebenen Ausführungsform, die an eine bekannte Frontoptik 20 gekoppelt ist und an die Krümmung der Strahlen bzw. die Feldkrümmung angepasst ist.

15

Figur 7 zeigt eine gekrümmte Fokalfläche 50 gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel. Der Aufbau des Detektormoduls, bestehend aus dem Detektor 11, dem Trägersubstrat 13 und den beiden Klebeschichten bzw. Verbindungsschichten 12, 14, ist wie bei der oben in  
20 bezug auf Figur 1 beschriebenen Ausführungsform ausgestaltet. Im Detektorträger 15 bzw. in der Fokalflächen-Rückplatte befinden sich jedoch Kanäle 51, die als Mikrokanäle bzw. micro heat-pipes ausgestaltet sind. Die Anordnung der Kanäle 51 ist derart, dass die Temperaturverteilung in der Rückplatte bzw. im Detektorträger 15 möglichst gleichförmig ist. Dazu verlaufen die Kanäle 51 in Gegenstromrichtung, d.h. es wird ein Hin- und Rücklauf von Kühlmittel im Detektorträger 15 bzw. in den Kanälen 51 erzielt.

25

Figur 8 zeigt eine andere Variante der Realisierung eines Temperatur-Kontrollsystems in einer Fokalfläche 60. Dabei sind Peltier-Elemente 61 an die Rückseite des Detektorträgers 15 gekoppelt. Dazu können z.B. 3 bis 10 Peltier-Elemente 61 an der Rückplatte eingebaut  
30 sein, so dass eine gleichmäßige Temperaturverteilung gewährleistet ist, auch unter sehr ungleichmäßiger Verteilung der Wärmedissipationen. Diese Anordnung hat den Vorteil, dass die Regelung elektronisch erfolgt, wobei z.B. keine Pumpen erforderlich sind. Auch

entfällt die ansonsten notwendige Abfuhr der Wärme an die Umgebung, ebenso wie ein Abdichten von Kühlkreisläufen.

Die Temperaturkontrolle bzw. Temperaturregelung erfolgt über Rechenprogramme unter Berücksichtigung von temperaturabhängigen Stoffwerten. Der weitere Aufbau auf dem Detektorträger 15 ist analog zu den oben unter Bezugnahme auf die Figuren 1 und 7 bereits beschriebenen Aufbauten.

Die Fokalflächen 50 und 60 mit einem Temperaturkontrollsystem gemäß den Figuren 7 und 8 sind z.B. an ein Schmidt-Teleskop als Frontoptik 20 gekoppelt. Aufgrund der hohen Flexibilität der Detektoren 11 ist es ebenso möglich, die gekrümmten Detektorzeilen mit einem variablen bzw. einstellbaren Krümmungsradius zu versehen.

Das Temperaturkontrollsystem ist so ausgelegt, dass alle Pixel des Zeilensensors in gekrümmter Aufbautechnik auch unter extremen äußeren Bedingungen, wie z.B. extreme Umgebungstemperaturen oder extremer Lichteinfall über die Zeile, innerhalb eines definierten Temperaturbereichs gehalten werden. Als Materialien, beispielsweise für die Verbindungsschichten 12 und 14, können flexible pyrolitische Grafit-Folien mit Wärmeleitzahlen bis zu 600 bis 800W/mK bei 0,1mm Dicke und einer Dichte von  $1\text{g/cm}^3$  verwendet werden. Weiterhin können zum Detektoraufbau auch verkapselte Folien verwendet werden, die innen ein TPG-Material (thermal pyrolytic graphite) mit einer sehr hohen Wärmeleitzahl von 1200W/mK, und außen verschiedene mögliche Materialien wie Kupfer, Aluminium, Kohlefaser oder Al-SiC aufweisen.

Im folgenden wird ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung von Detektoren bzw. dünnen Zeilendetektoren und einer gekrümmten Fokalfläche 10, 50, 60 anhand der Figuren 9a bis g beschrieben.

Zunächst werden Siliziumbausteine bzw. Chips mit einer Länge von ca. 100mm und einer Breite von ca. 3mm bereitgestellt. Nun werden die fertig prozessierten Si-Scheiben auf eine Dicke in der Größenordnung von  $25\mu\text{m}$  gedünnt, d.h. in ihrer Dicke reduziert. Dazu wird ein zu dünnender Wafer bzw. ein Silizium-Element 71 mit einem Hilfsträger 72

verbunden. Bei der Verbindung ist die aktive Seite 71a des Si-Elements 71 dem Hilfsträger 72 zugewandt (Fig. 9a). Der Hilfsträger 72 kann ein Silizium oder Glaswafer sein. Als Zwischenschicht 73 zwischen dem Silizium-Element 71 und dem Hilfsträger 72 wird ein flüssig aufgetragener Kleber oder eine Klebefolie verwendet. Dabei wird streng darauf geachtet, dass die Verbindung keine Lunker enthält. Der nun folgende Dünnungsprozess ist auf die Topographie der zu dünnenden Scheiben abgestimmt. Da die Zeilendetektoren sehr lang sind, z.B. 100mm, wird bei der Entwicklung des Dünnungsprozesses besonderer Augenmerk auf die Dickenvariation und einen möglichen Keilfehler gelegt. Beide sollten jeweils  $\leq 1$  bis  $2\mu\text{m}$  sein.

10

Das eigentliche Dünnen der ca.  $700\mu\text{m}$  dicken Wafer erfolgt in einem mehrstufigen Prozess von Schleifen über Spin-Ätzen bis zum chemisch-mechanischen Polieren (CMP). Schleifen hat dabei eine sehr hohe Abtragsrate, die z.B. 100 bis  $200\mu\text{m}/\text{min}$  beträgt. Dabei können jedoch unter Umständen Fehlstellen in der Kristalloberfläche des Siliziums erzeugt werden. Beim Spin-Ätzen mit einer mittleren Abtragsrate von 20 bis  $50\mu\text{m}/\text{min}$  wird dies vermieden, jedoch erhält man zumeist eine leichte Welligkeit. CMP hingegen hat eine sehr geringe Abtragsrate im Bereich von 1 bis  $2\mu\text{m}/\text{min}$ , liefert dafür aber die höchste Präzision. Der Dünnungsablauf wird unter Verwendung des jeweils geeignetsten Prozesses so ausgestaltet, dass mit vertretbarem Zeitaufwand die geforderten Spezifikation eingehalten werden.

20

Der Hilfsträger 72 wird bis zum Aufsetzen des Zeilendetektors auf das Trägersubstrat 13 (Figur 9b) beibehalten. Dies hat den Vorteil einer leichteren Handhabung. Das Silizium-Element 71 ist mit seiner aktiven Seite 71a mit dem Hilfsträger 72 in Kontakt. Das Silizium-Element 71 beziehungsweise der Wafer wird auf eine Dicke von weniger als  $50\mu\text{m}$  gedünnt.

25

Das Vereinzeln der dünnen Wafer in Chips kann entweder vor dem Dünnen oder nach dem Dünnen erfolgen. Im vorliegenden Fall wird zum Vereinzeln nicht der Standardprozess des Sägens verwendet, da bei dem gedünnten Wafern ansonsten die Gefahr besteht, dass die Chipkanten Ausbrüche zeigen. Durch die Kerbwirkung kann es unter bestimmten Voraussetzungen zum Chipbruch kommen, was im vorliegenden Fall wegen des großen

30

Längen- zu Breitenverhältnisses von ca. 40 besonders kritisch ist. Hier wird deshalb bevorzugt ein Verfahren zum Vereinzeln durchgeführt, das zu sauberen, unbeschädigten Chipkanten führt und eine hohe Ausbeute an CMOS-Detektorzeilen pro Wafer erlaubt.

- 5 Beim Vereinzeln vor dem Dünnen werden die einzelnen Chips durch Gräben im noch ungedünnten Wafer getrennt, wobei die Tiefe der Gräben der angestrebten Restdicke von ca. 25µm entspricht. Zur Herstellung der Gräben, kommen Ätzverfahren, die senkrechte Wände im Silizium erzeugen, oder das Einsägen in Betracht. In beiden Fällen ist als kritischer Punkt die Unterätzung zu betrachten, welche die Bondpads angreift. Sie tritt
- 10 während des Spin-Ätzens oder CMP beim Dünnungsprozess ein, sobald die Gräben offen liegen.

- Obwohl das Ätzverfahren aufwendiger ist und zudem eine Ätzmaske und Lithografieschritte benötigt werden, hat es den Vorteil einer genaueren und
- 15 gleichmäßigeren Definition der Grabentiefe. Kantenausbrüche, die beim Einsägen vor dem Dünnen entstehen, können beim Dünnungsprozess noch ausgeheilt werden.

- Für das Vereinzeln nach dem Dünnen kommen vor allem Verfahren in Betracht, die saubere Chipkanten zulassen, wie z.B. das Ätzen. Ein Problem ist hierbei die Erkennung
- 20 der Sägestrassen, da der gedünnte Wafer mit seiner aktiven Seite 71a zum Träger bzw. Hilfsträger 72 zeigt. Zur Lösung bietet sich an, Maskaligner mit IR-Justierung zu verwenden, einen Hilfsträger 72 aus Glas zu verwenden und die Zwischenschicht 73 durchsichtig zu gestalten (Doppelseiten-Maskaligner), oder das Einbringen von Justiermarken vor dem Dünnen. Auch kann das Vereinzeln durch Laserschneiden erfolgen,
- 25 als Alternative zum Ätzen.

Für die weitere Montage der gedünnten Chips auf Substrate bzw. das Trägersubstrat 13 ist der Trägerwafer in einem Standart-Sägeprozess zu zerteilen.

- 30 Figur 9a zeigt den Hilfsträger 72 mit der darauf befindlichen Verbindungs- oder Zwischenschicht 73 und den zu dünnenden Wafer bzw. Silizium-Element 71. Das Silizium-

Element 71 ist mit seiner aktiven Seite 71a dem Hilfsträger 72 zugewandt. In diesem Verbund erfolgt das Dünnen des Silizium-Elements 71, wie es oben beschrieben ist.

5 Nun werden die dünnen CMOS-Zeilendetektoren bzw. Silizium-Elemente 71 mit dem Hilfsträger 72 auf flexiblen Substraten 13 montiert. Figur 9b zeigt den auf dem Trägersubstrat 13 befestigten Verbund aus dem Hilfsträger 72, der Verbindungs- bzw. Zwischenschicht 73 und dem Zeilendetektor bzw. Detektor. Dieser Verbund ist mittels einer Klebeschicht bzw. Verbindungsschicht 12 (siehe auch Figur 1) mit dem Trägersubstrat 13 verbunden.

10

Bei der Montage der dünnen Chips wird ein gleichmäßig dünner, reproduzierbarer Kleberauftrag durchgeführt und anschließend wird das lange Chip auf das Trägersubstrat 13 planparallel aufgesetzt. Es wird dabei eine gleichmäßig dünne Verbindungsfuge mit einer Dicke von weniger als  $10\mu\text{m}$ , bevorzugt ca. 1 bis  $2\mu\text{m}$ , geschaffen, die stressarm ist.

15

Nun wird der Hilfsträger 72 bzw. das Trägerchip einschließlich der Verbindungs- bzw. Zwischenschicht 73 rückstandsfrei entfernt. Dabei wird darauf geachtet, dass keine Rückstände verbleiben und keine chemische Reaktion mit der Padmetallisierung stattfindet.

20

Als Trägersubstrate 13 werden flexible Folien verwendet, die später das Einbringen in eine gekrümmte Fläche einer FP-Rückplatte bzw. Fokalflächen-Rückplatte gestatten.

Als Alternative zum Aufbau über eine flexible Folie als Zwischenträger kann in bestimmten  
25 Fällen der Zeilendetektor auch direkt, d.h. ohne Hilfsträger, auf dem FPA-Träger bzw. Fokalflächenträger montiert werden.

Das Trägersubstrat 13 mit dem darauf befindlichen Zeilendetektor 11 und seinen elektrischen Kontakten 16a ist schematisch in Figur 9c als Schnittansicht dargestellt. Der  
30 Hilfsträger 72 (Figur 9b) ist bereits entfernt.



Im nächsten Schritt erfolgt das Anbringen der Kontakte. Dabei wird eine isoplanare Kontaktierung durchgeführt. Dies hat gegenüber dem ansonsten in der Mikroelektronik üblichen Drahtbonden den Vorteil, dass keine hohen lokalen Druckkräfte eines Bondstempels zur Zerstörung der extrem dünnen Chips führen können.

5

Bei der isoplanaren Kontaktierung werden die elektrischen Verbindungen vom Chip bzw. Chipanschlüssen oder Kontakten 16a zum Substrat über die Chipkante gezogen. Die Figuren 9d und 9e zeigen ein Schema für die isoplanare Kontaktierung des Detektors 11 in einer Schnittansicht und in einer Draufsicht. Die Detektorzeile bzw. der Detektor 11 ist durch die Verbindungsschicht 12, die ein Kleber ist, auf dem Trägersubstrat 13, das eine Substratfolie ist, befestigt. In einem Randbereich des Trägersubstrats 13 befinden sich die elektrischen Kontakte 16 bzw. Außenanschlüsse. Elektrische Verbindungen 17 führen vom Chip zum Substrat über die Chipkante (s. auch Fig. 3).

10

Die Herstellung der elektrischen Verbindungen 17 kann z.B. durch Siebdrucktechnik erfolgen.

15

In einem optional möglichen Testverfahren werden Substrate und Wafer entworfen und hergestellt, die passive Teststrukturen wie z.B. Kelvin- oder Daisy-Chain-Strukturen enthalten. Dabei werden die Kontakte unter Variation und Optimierung leitfähiger Pasten gedruckt. Anschließend wird der Kontaktwiderstand im Hinblick auf einen zuverlässigen Kontakt vom CMOS-Zeilendetektor zum Substrat untersucht. Weiterhin wird der Einfluss der Chipkante im Hinblick auf den Isolationswiderstand, die Bedruckbarkeit, eine Unterbrechung der Leiterbahnen in Folge von Temperatureinflüssen, usw. untersucht.

20

25

Nun wird der Detektor 11 mit den damit verbundenen Strukturen mit einer lichtdurchlässigen Abdeckung 74 versehen. Dazu wird die CMOS-Zeile zwischen zwei Folien einlaminieren. Die Figuren 9f und 9g zeigen den Detektor 11 mit dem darunterliegenden Trägersubstrat 13 und der lichtdurchlässigen Abdeckung 74, die auf der Oberseite des Detektors 11 angeordnet ist. Das Trägersubstrat 13 wird durch eine untere Folie oder Trägerfolie gebildet, an der sich die Anschlussstrukturen befinden. Die Abdeckung 74 ist eine obere Folie, die durchsichtig ist und als Schutz dient. Dadurch wird

30

die weitere Handhabung des Zeilenmoduls, das aus der Detektorzeile bzw. dem Detektor 11 auf dem flexiblen Substrat 13 gebildet ist, wesentlich erleichtert. Die elektrischen Verbindungen 17 und Außenanschlüsse bzw. elektrischen Kontakte 16 wurden oben bereits beschrieben.

5

Figur 10 zeigt eine Anordnung zur Ausbildung unterschiedlicher Krümmungsradien in einem nach dem obigen Verfahren hergestellten Detektor 11 bzw. Detektorelement für optoelektronische Bildaufnahmesysteme. Dabei wird das Detektormodul, bestehend aus dem Detektor 11, der Verbindungsschicht 12 und dem Trägersubstrat 13, von der Rückseite in seinen Randbereichen durch Auflageelemente 75 unterstützt, während von der gegenüberliegenden Seite eine Kraft F im wesentlichen im Zentrum des Detektors 11 durch einen Aktuator aufgebracht wird. Auch ist es beispielsweise möglich, den Detektorträger 15 (Figur 1) mit Mitteln bzw. Aktuatoren zur Veränderung der Krümmung seiner Oberfläche 15a zu versehen. Der flexible Detektor 11 gemäß der vorliegenden Erfindung ist an die unterschiedlichen Krümmungen anpassbar und somit ist die gesamte Fokalfläche 10 mit dem Detektor 11 entsprechend den jeweiligen Anforderungen der Optik und der Umgebungsbedingungen anpassbar.

In Figur 10 ist die Anordnung als Testaufbau zum Test gekrümmter bzw. biegebarer Detektoren 11 ausgestaltet. Beim Test werden die Signale aus dem Schieberegister des Detektors 11 ausgelesen, die Funktionsfähigkeit der Zeilenmodule überprüft und auf mögliche Fehler untersucht, während der Krümmungsradius des Zeilenmoduls variiert wird.

Nach dem optionalen Test wird das Zeilenmodul, d.h. der auf dem Trägersubstrat 13 montierte Detektor 11 in den Fokalflächen- bzw. Detektorträger 15 eingebracht. Dabei muss das Zeilenmodul möglichst passgenau montiert werden. Das auf dem Detektorträger 15 montierte Zeilen- oder Detektormodul ist in Figur 1 dargestellt und wurde oben bereits beschrieben. Bei der Einpassung des Detektormoduls und seiner Anpassung an die Krümmung des Detektorträgers 15 werden die jeweiligen Anforderungen wie laterale und vertikale Toleranzen, Zuverlässigkeit im Hinblick auf Temperatur und Beschleunigung usw., Lichtbeständigkeit, u.ä. eingehalten. Bei der Einhaltung des Krümmungsradius sind, wie

oben gezeigt, als Toleranzen Abweichungen von ca. 30µm zulässig. Diese Toleranzen können gut eingehalten werden, da sich die einzelnen Dicken der verschiedenen Schichten des Zeilenmoduls im µm-Bereich bewegen (Detektorzeile ca. 20µm, Substratfolie bzw. Trägersubstrat 13 ca. 50 bis 100µm, Kleberschicht < 10µm).

5

Nach dem Einbringen des Zeilenmoduls in den Detektorträger 15 werden die elektrischen Verbindungen zur Ansteuer- und Ausleseelektronik hergestellt. Dafür ist eine zuverlässige mechanische und elektrische Befestigung des Verbindungselements auf dem Zeilenmodul vorgesehen.

10

Durch entsprechende Tests wird ein derartiges, komplettes FPA-Modul, d.h. ein mit dem Detektorträger 15 verbundenes Detektormodul, auf seine Funktionsfähigkeit geprüft.

Durch Variation der Testparameter wird die Zuverlässigkeit schrittweise erhöht. Dabei werden vor allen Dingen im Bereich der Raumfahrt auftretende Bedingungen wie

15

Vibrationen, Beschleunigungen, Temperatur, Temperaturgradienten, Temperaturwechsel, Feuchte, Bestrahlung bzw. Lichteinwirkung usw. berücksichtigt. Entsprechend den jeweiligen Anforderungen und Betriebsbedingungen werden die Module schrittweise optimiert.

20

Durch die Erfindung und insbesondere durch die erfindungsgemäße Aufbautechnik gekrümmter Fokalfächen werden optische Instrumente, insbesondere

Weltrauminstrumente mit weitem Sehfeld und weiten Brennweiten vereinfacht. Auch in anderen Anwendungsgebieten kann die Frontoptik eines optischen Systems wesentlich einfacher ausgelegt werden, da aufgrund der Erfindung die Forderung nach einer ebenen

25

Abbildung auf die Halbleiterdetektoren umgangen werden kann.

Feldkorrektoren können vermieden werden, was neuartige Teleskopkonzepte erlaubt, ebenso wie Instrumentenkonzepte mit einer aktiven oder adaptiven Regelung der Form der Fokalebene, die anstelle oder auch in Kombination mit den bisher eingesetzten aktiven  
30 oder adaptiven Optiken eingesetzt werden kann.

- Frontoptiken wie Teleskope oder Objektive lassen sich einfacher realisieren, insbesondere bei weiten Sehfeldern mit Spiegelteleskopen. Ein erfindungsgemäßes Bildaufnahmesystem mit der hier beschriebenen Fokalfläche hat eine geringere thermo-mechanische Empfindlichkeit bzw. eine höhere Robustheit als herkömmliche Systeme. Es ergeben sich
- 5 geringere Transmissionsverluste und ein sehr breitbandiger spektraler Übertragungsbereich. Aktive bzw. adaptive Regelungen der Teleskopoptiken können ergänzt werden durch Verfahren, bei denen z.B. die Position der Detektoren in der optischen Einfallsrichtung verändert wird. Weiterhin ergeben sich kostengünstigere Bildaufnahmesysteme, da die Optik bei einem größeren Sehfeld und reduzierten
- 10 Verzerrungen wesentlich vereinfacht werden kann.

**Bezugszeichen**

	10	Fokalfläche
5	11	Detektor
	11a	Oberfläche des Detektors
	12	1. Verbindungsschicht
	13	Trägersubstrat
	13a	Oberfläche des Trägersubstrats
10	14	2. Verbindungsschicht
	15	Detektorträger
	15a	Oberfläche des Detektorträgers
	16	elektrische Kontakte
	16a	elektrische Kontakte
15	17	elektrische Verbindungen
	20	Frontoptik
	21	Konkaver Spiegel
	22	Konvex-Spiegel
	23	Zentralöffnung
20	24	Korrektor (SdT)
	24a	ebene Fokalfläche (SdT)
	24b	Primärspiegel
	24c	Faltspiegel
	50	Fokalfläche
25	51	Kanäle
	60	Fokalfläche
	61	Peltierelemente
	71	Si-Elemente
	71a	aktive Seite des Si-Elements
30	72	Hilfsträger
	73	Zwischenschicht
	74	lichtdurchlässige Abdeckung

75	Auflageelement
F	Kraft
$f_1$	Fokus
$f_2$	Fokus

**Patentansprüche**

1. Fokalfläche für optoelektronische Bildaufnahmesysteme, mit einer Anordnung von Detektoren (11) zur Bildaufnahme, und  
5 einem Detektorträger (15) zum Halten der Detektoren (11),  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass die Detektoren (11) jeweils aus mindestens einem Silizium-Element (71) hergestellt sind, das mit einem flexiblen Trägersubstrat (13) verbunden ist, wobei die Fokalfläche (10; 50; 60) und/oder die Detektoren (11) eine Krümmung  
10 zur Aufnahme eines gekrümmten Bildfelds aufweisen.
2. Fokalfläche nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektoren (11) aus gedünnten Silizium-Wafern hergestellt sind und gekrümmt in der Fokalfläche (10; 50; 60) angeordnet sind.
- 15 3. Fokalfläche nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektoren (11) mittels eines Hilfsträgers (72) hergestellt sind, der zum Dünnen des mindestens einen Silizium-Elements (71) mit dem Silizium-Element (71) verbunden ist und nach dem Dünnen entfernbar ist oder entfernt wird.
- 20 4. Fokalfläche nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Silizium-Element (71) eine Dicke im Bereich von maximal ca. 20  $\mu\text{m}$ , bevorzugt im Bereich von ca. 10  $\mu\text{m}$  oder weniger aufweist.
- 25 5. Fokalfläche nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektoren (11) flexibel sind
6. Fokalfläche nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektoren (11) CMOS-Zeilendetektoren sind.

30

7. Fokalfläche nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Aktorik zur variablen Krümmung der Detektoren (11) oder der Fokalfläche (10; 50; 60).
- 5 8. Fokalfläche nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch ein Temperatur-Kontrollsystem (51; 61), um die Detektoren (11) in einem definierten Temperaturbereich zu halten, wobei der Detektorträger (15) Kanäle (51) aufweist und/oder an Peltierelemente (61) gekoppelt ist.
- 10 9. Verfahren zur Herstellung einer Fokalfläche für optoelektronische  
Bildaufnahmesysteme, bei dem ein Detektorträger (15) mit einer Detektor-  
Anordnung (11) zur Bildaufnahme versehen wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass  
zur Ausgestaltung flexibler Detektoren (11) jeweils mindestens ein Silizium-Element  
(71) mit einem flexiblen Trägersubstrat (13) verbunden wird, wobei der  
15 Detektorträger (15) eine Krümmung aufweist und die flexiblen Detektoren (11) an  
die Krümmung des Detektorträgers (15) angepasst werden.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Silizium-Element  
(71) gedünnt wird.
- 20 11. Verfahren zur Herstellung eines Detektors für optoelektronische  
Bildaufnahmesysteme, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein Silizium-  
Element (71) gedünnt wird und mit einem flexiblen Trägersubstrat (13) verbunden  
wird, so dass es flexibel ausgestaltet ist und/oder an eine Krümmung eines  
25 Bildfelds anpassbar ist.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das  
Silizium-Element (71) zum Dünnen mit einem Hilfsträger (72) verbunden wird,  
wobei der Hilfsträger (72) nach dem Dünnen entfernt wird oder entfernbar ist.
- 30



13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Dünnen durch Abtragen mittels Schleifen, Ätzen, Spin-Ätzen, chemisch-mechanisches Polieren oder eine Kombination davon erfolgt.
- 5 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Silizium-Element (71) zunächst als Wafer vorliegt und vor dem Verbinden mit dem Trägersubstrat (13) in Chips vereinzelt wird.
- 10 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Silizium-Element (71) durch isoplanare Kontaktierung mit elektrischen Kontakten (16, 16a) versehen wird.
- 15 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Silizium-Element (71) mit einer lichtdurchlässigen Abdeckung (74) versehen wird.
17. Detektor zur Bildaufnahme, der aus einem Silizium-Element (71) hergestellt ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Silizium-Element (71) gedünnt und mit einem flexiblen Trägersubstrat (13) verbunden ist, und dass der Detektor (11) flexibel ist.
- 20 18. Detektor nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Silizium-Element (71) eine Dicke im Bereich von ca. 10 bis 20  $\mu\text{m}$  und/oder ein Längen- zu Breitenverhältnis im Bereich von ca. 20 bis 60, bevorzugt ca. 40, aufweist.
- 25 19. Detektor nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass er durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 16 hergestellt ist.
- 30 20. Optoelektronisches Bildaufnahmesystem, mit einer Frontoptik zum Erfassen eines Bildes, und einer Detektor-Anordnung (11), die in einer Fokalfäche (10; 50; 60) der Frontoptik angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektor-Anordnung (11) gekrümmt in der Fokalfäche (10; 50; 60) angeordnet ist.

21. Optoelektronisches Bildaufnahmesystem, gekennzeichnet durch eine Fokalfäche (10; 50; 60) nach einem der Ansprüche 1 bis 8 und/oder einen Detektor (11) nach einem der Ansprüche 17 bis 19.

### Zusammenfassung

Eine Fokalfläche (10) für optoelektronische Bildaufnahmesysteme hat eine Anordnung von Detektoren (11) zur Bildaufnahme und einen Detektorträger (15) bzw. FPA-Träger zum Halten der Detektoren (11). Die Detektoren (11) sind jeweils aus mindestens einem Silizium-Element hergestellt, das mit einem flexiblen Trägersubstrat (13) verbunden ist. Die Fokalfläche bzw. die Detektoren (11) weisen eine Krümmung auf, so dass ein gekrümmtes Bildfeld aufgenommen werden kann. Bei einem Verfahren zur Herstellung einer Fokalfläche für optoelektronische Bildaufnahmesysteme wird zur Ausgestaltung flexibler Detektoren (11) jeweils mindestens ein Silizium-Element mit einem flexiblen Trägersubstrat (13) verbunden, wobei ein Detektorträger (15) eine Krümmung aufweist und die flexiblen Detektoren (11) an die Krümmung des Detektorträgers (15) angepasst werden. Um einen erfindungsgemäßen Detektor herzustellen, wird ein Silizium-Element gedünnt und mit dem flexiblen Trägersubstrat (13) verbunden, so dass es flexibel ausgestaltet ist und an eine Krümmung eines Bildfelds anpassbar ist. Ein erfindungsgemäßes optoelektronisches Bildaufnahmesystem mit einer Frontoptik zum Erfassen eines Bildes und einer Detektor-Anordnung, die in einer Fokalfläche der Frontoptik angeordnet ist, zeichnet sich dadurch aus, dass die Detektor-Anordnung gekrümmt in der Fokalfläche angeordnet ist.

[Fig. 1]

10

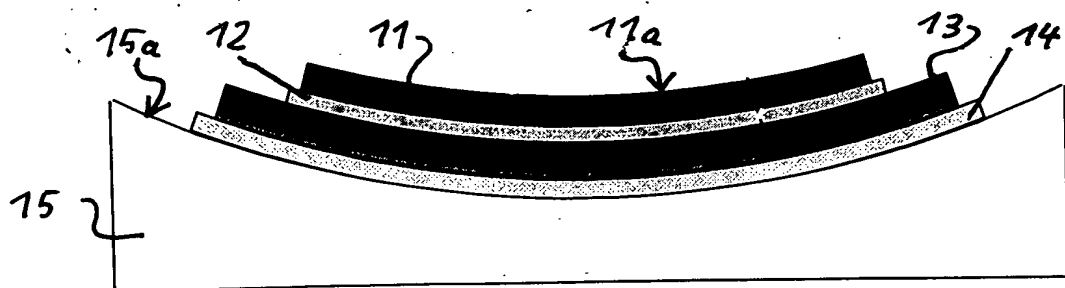


Fig. 1

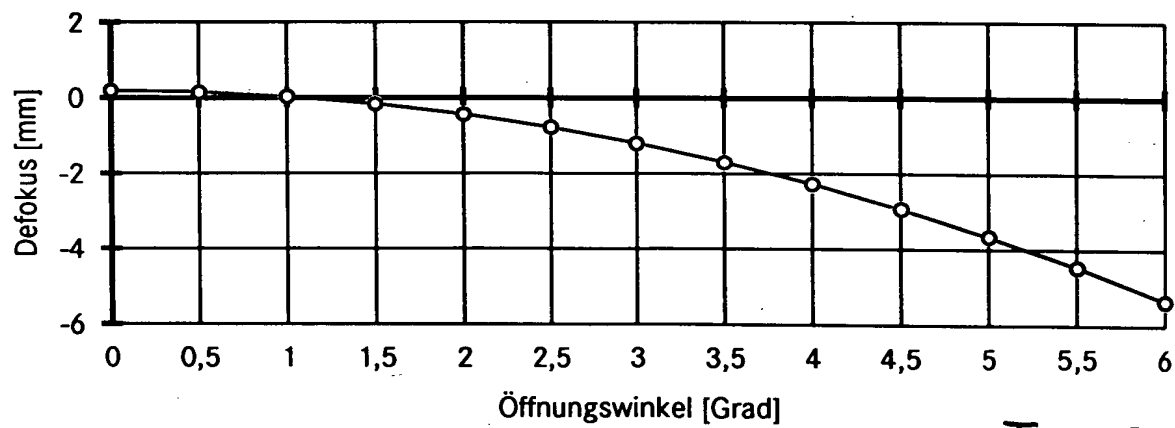


Fig. 2

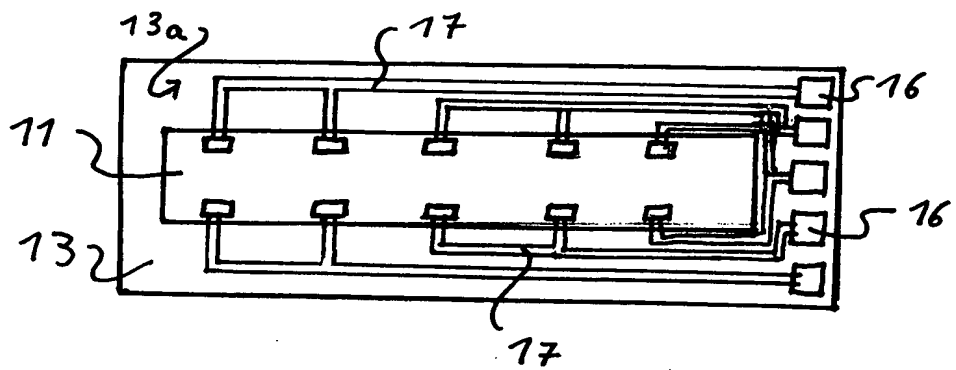


Fig. 3

SdT

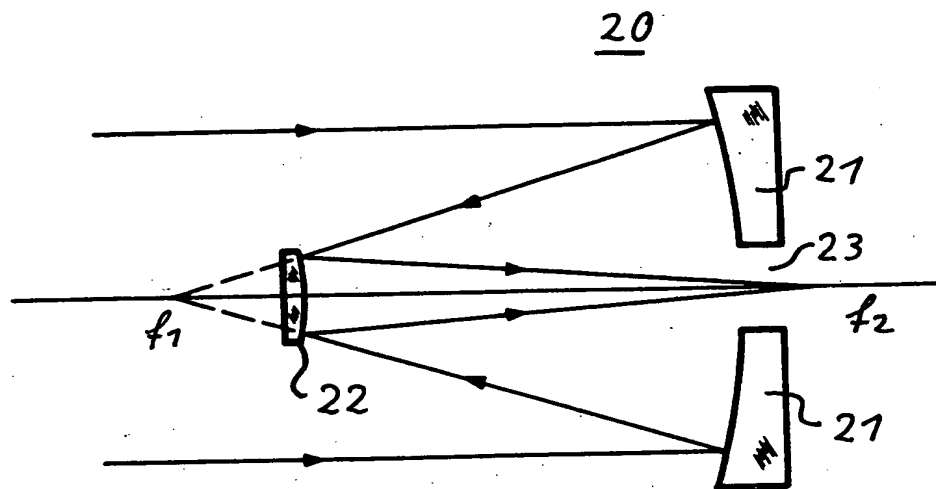


Fig. 4

SdT

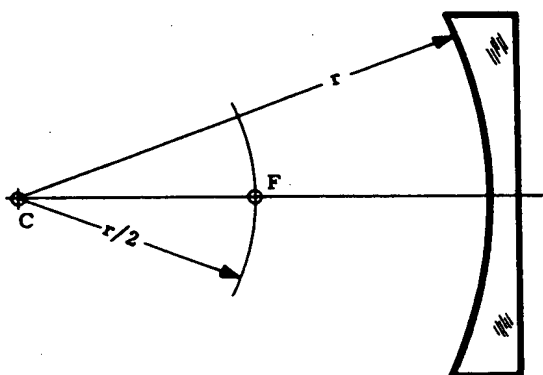


Fig. 5

SdT

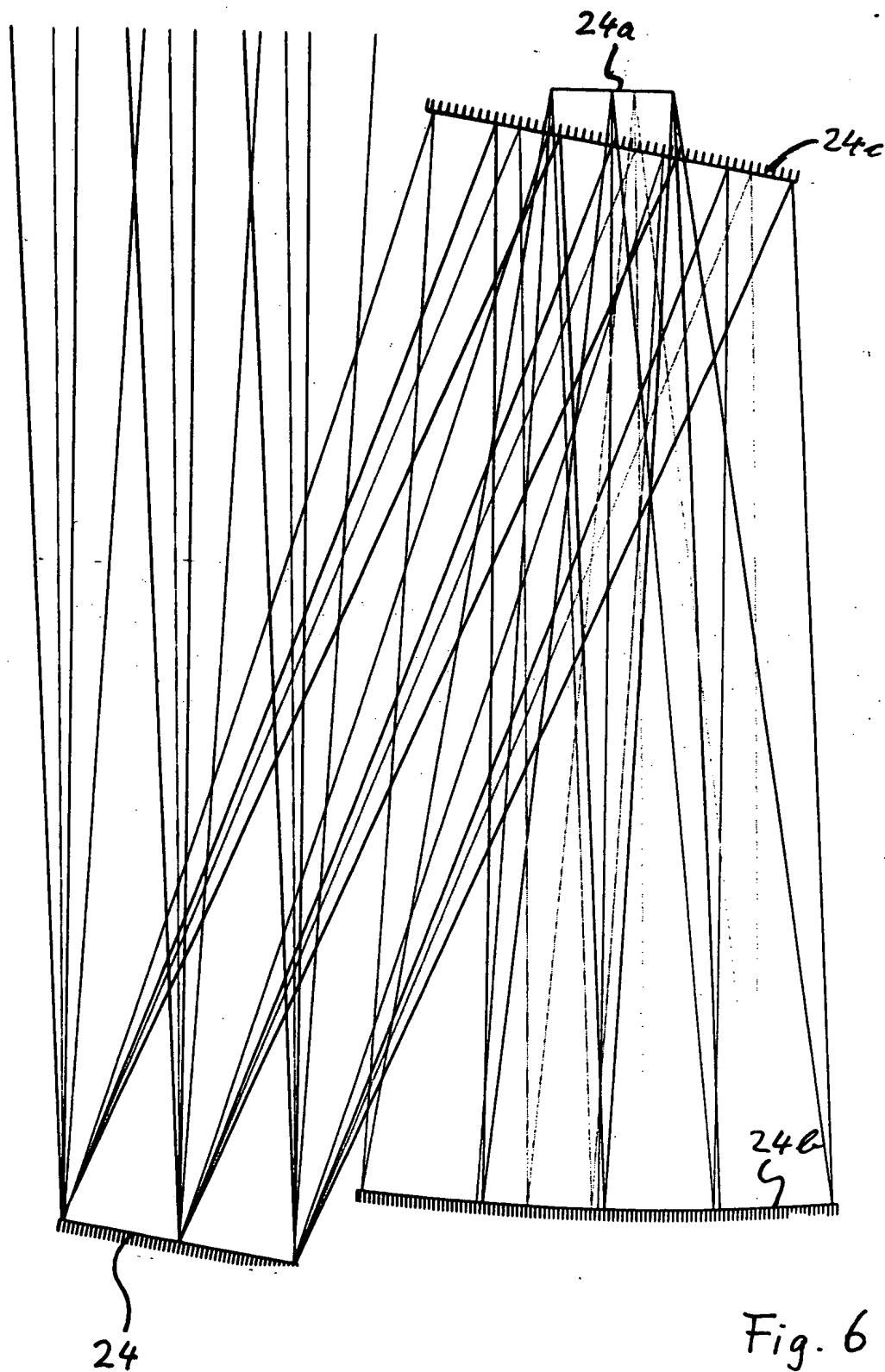


Fig. 6

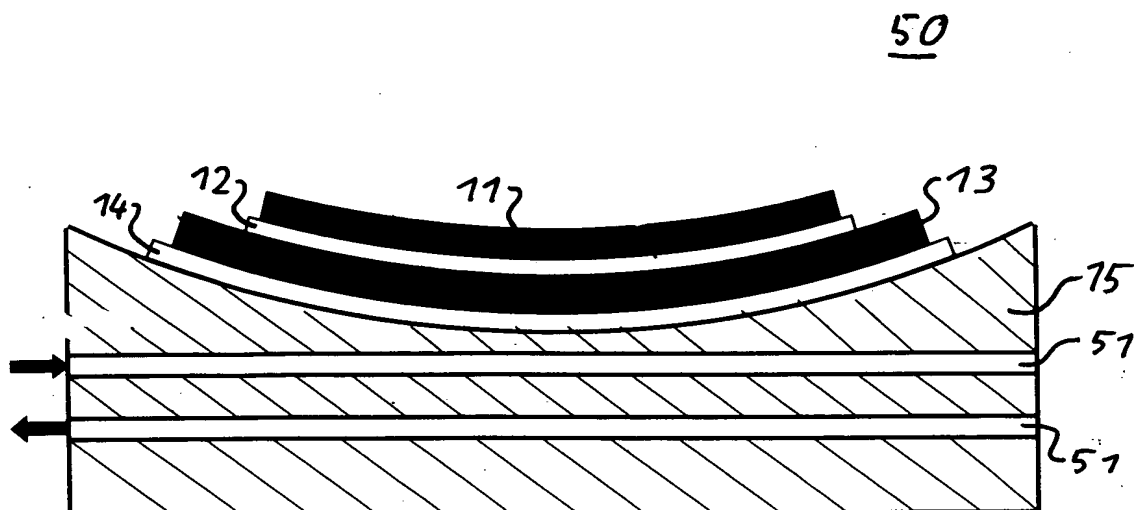


Fig. 7

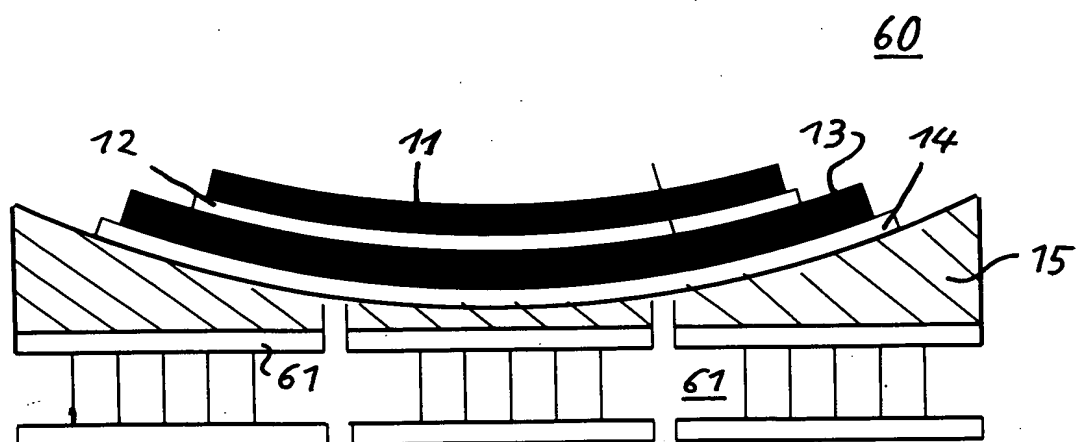
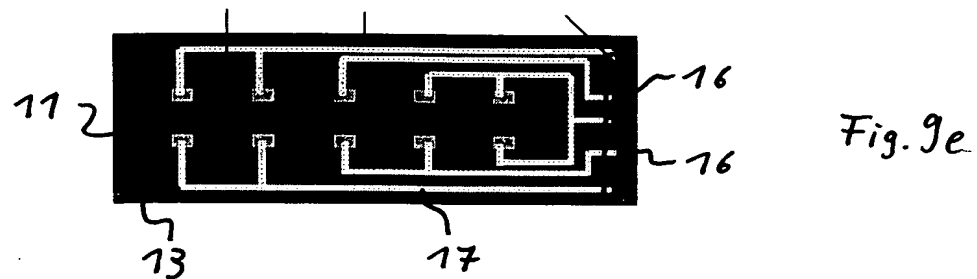
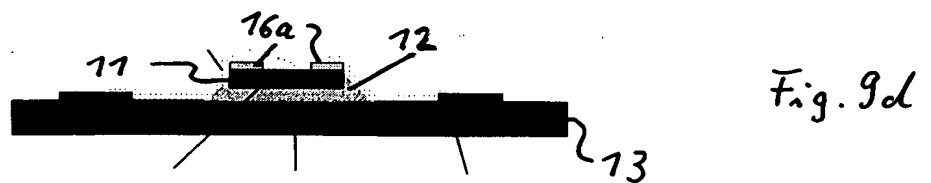
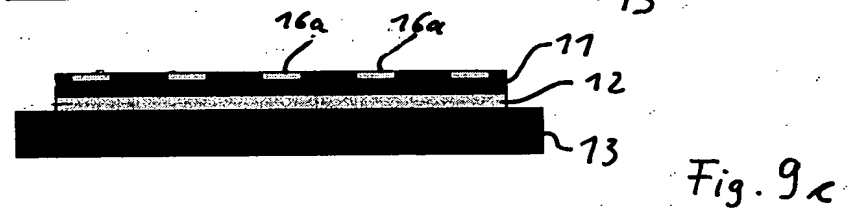
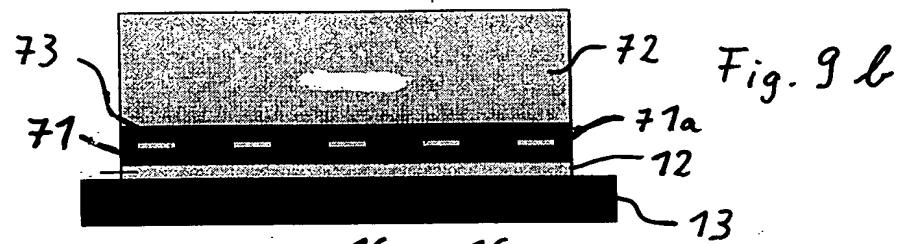
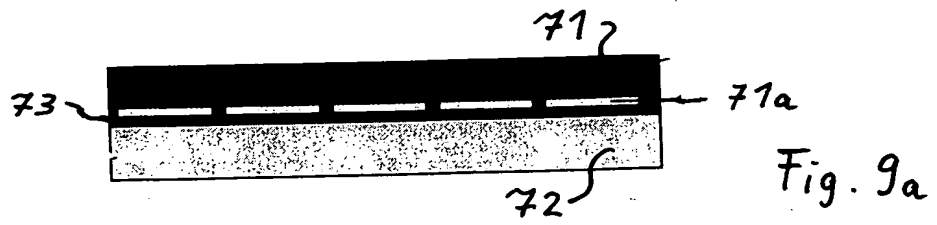


Fig. 8





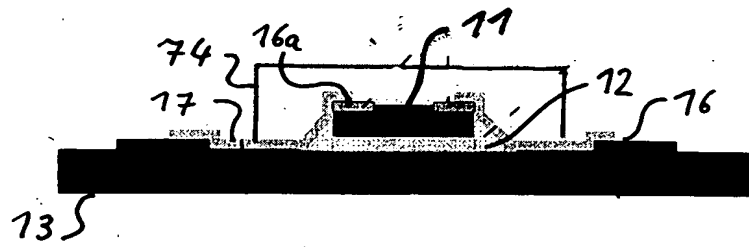


Fig. 9f

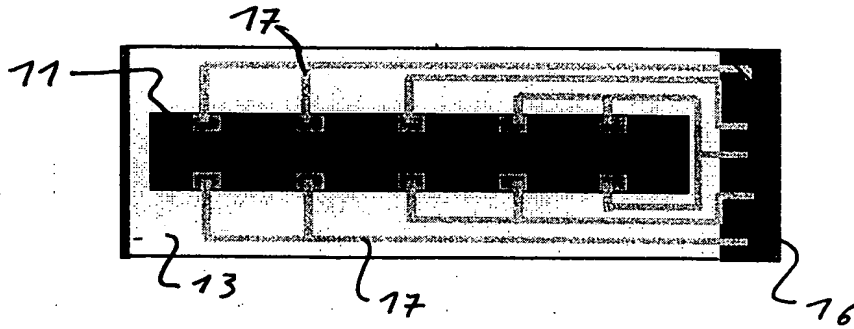


Fig. 9g

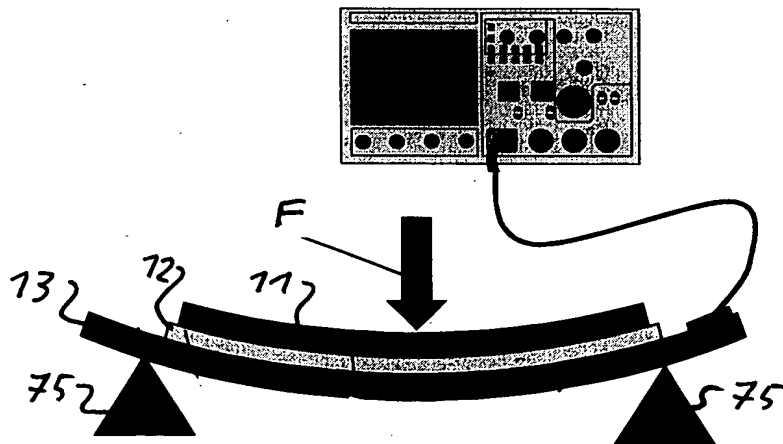


Fig. 10